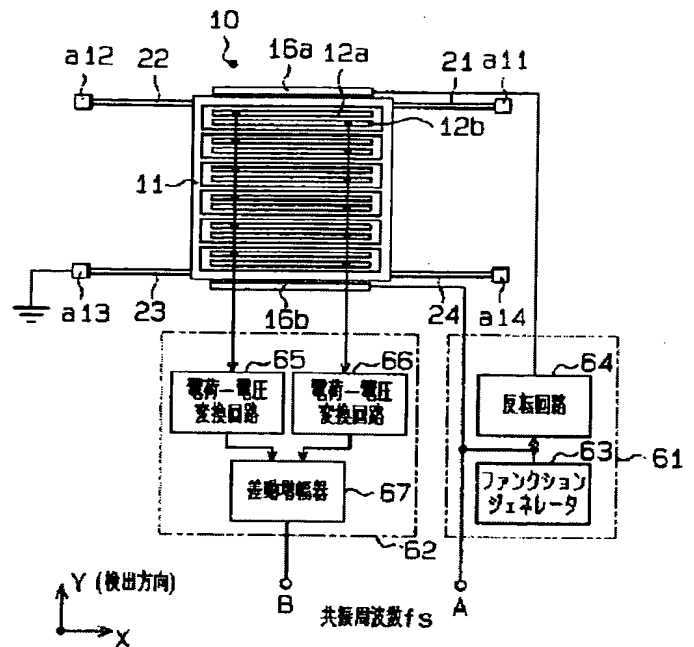


Patent Abstracts of Japan

TITLE : ACCELERATION SENSOR



COPYRIGHT: (C)2001,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-264355

(P2001-264355A)

(43) 公開日 平成13年9月26日 (2001.9.26)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

フォーマット* (参考)

G 0 1 P 15/125
21/00

G 0 1 P 15/125
21/00

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2000-77094 (P2000-77094)

(22) 出願日 平成12年3月17日 (2000.3.17)

(71) 出願人 000000011

アイシン精機株式会社

愛知県刈谷市朝日町2丁目1番地

(72) 発明者 倉知 秀哉

愛知県刈谷市朝日町2丁目1番地 アイシン精機 株式会社内

(72) 発明者 加藤 学

愛知県刈谷市朝日町2丁目1番地 アイシン精機 株式会社内

(74) 代理人 100068755

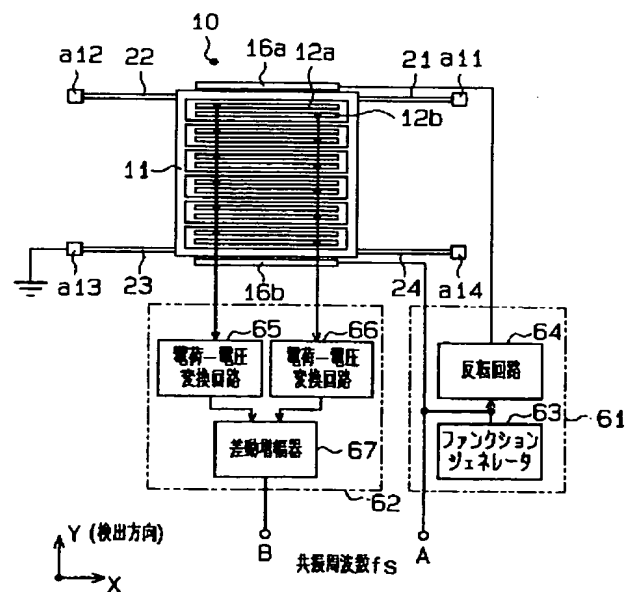
弁理士 恩田 博宣 (外1名)

(54) 【発明の名称】 加速度センサ

(57) 【要約】

【課題】 加速度感度を簡易に測定してその感度調整を行うことができる加速度センサを提供する。

【解決手段】 振動子11はシリコン基板10に対して浮動支持されている。振動子11は、y方向（変位方向）に加速度が加えられると、同方向に変位する。この振動子11のy方向の変位は、変位信号として検出され、同変位信号に基づき加えられた加速度が検出される。この加速度センサは、振動子11と間の静電引力が変動するように駆動信号が入力されて同振動子11をy方向に振動駆動する測定電極16a、16bを備えている。測定電極16a、16bに入力される駆動信号及び変位信号に基づき振動子11のy方向の共振周波数が測定される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 所定の変位方向を有して基板に対して浮動支持され、該変位方向に加速度が加えられることにより該変位方向に変位する振動子と、該振動子の変位信号を検出する変位検出手段とを備え、該検出された振動子の変位信号に基づき加えられた加速度を検出する加速度センサにおいて、

前記振動子との間の静電引力が変動するように駆動信号が入力されて該振動子を変位方向に振動駆動する測定電極を備え、

前記測定電極に入力される駆動信号及び前記変位検出手段により検出される変位信号に基づき、該振動子の変位方向の共振周波数を測定することを特徴とする加速度センサ。

【請求項2】 請求項1に記載の加速度センサにおいて、

前記測定電極は、前記振動子の変位方向一側に配置される第1測定電極と、該振動子の変位方向他側に配置される第2測定電極であることを特徴とする加速度センサ。

【請求項3】 請求項1に記載の加速度センサにおいて、

前記測定電極は、前記振動子の変位方向一側において該変位方向と略直交し、且つ、前記基板と略平行な方向に沿って並設される第1測定電極及び第2測定電極であることを特徴とする加速度センサ。

【請求項4】 請求項1に記載の加速度センサにおいて、

前記測定電極は、前記振動子の変位方向一側において該変位方向と略直交し、且つ、前記基板と略平行な方向に交互に並設される複数の第1測定電極及び第2測定電極であることを特徴とする加速度センサ。

【請求項5】 請求項1～4のいずれかに記載の加速度センサにおいて、

前記変位検出手段は、前記振動子との間の静電容量の変動を変位信号として検出する加速度検出電極を備え、前記振動子の静止状態において前記測定電極と該振動子との間の変位方向の距離は、前記加速度検出電極と該振動子との間の変位方向の距離よりも短く設定されていることを特徴とする加速度センサ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、基板に対して浮動支持された振動子を備え、該振動子の変位に基づき加速度を検出する加速度センサに関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来、加速度センサとしては、例えば、特開平10-335675号公報に示されるように、所定の変位方向を有して基板に対して浮動支持される振動子を備えた構造のものがある。この加速度センサは、変位方向に加速度が加えられると、同方向に変位する。加

速度センサは、この振動子の変位方向の変位に基づき加えられた加速度を検出する。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】ところで、この種の加速度センサにおいては、振動子の製造ばらつきによりその感度（加速度感度）がばらつくことがある。このような加速度感度のばらつきによりセンサの検出精度の低減を余儀なくされるため、同センサの検出回路のゲインを調整等することによって同感度を予め調整する必要がある。

【0004】しかし、このような加速度感度のばらつきを検出する手段がないため、同感度の調整においては、振動子に実際に加速度を加えながら同センサの検出回路のゲイン調整等により同感度の調整を行っていた。従って、このような加速度を加えながらの感度調整の工程に多大な時間が必要とされ、結果として製造コストが増大することとなっていた。

【0005】本発明の目的は、加速度感度を簡易に測定してその感度調整を行うことができる加速度センサを提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】上記問題点を解決するために、請求項1に記載の発明は、所定の変位方向を有して基板に対して浮動支持され、該変位方向に加速度が加えられることにより該変位方向に変位する振動子と、該振動子の変位信号を検出する変位検出手段とを備え、該検出された振動子の変位信号に基づき加えられた加速度を検出する加速度センサにおいて、前記振動子との間の静電引力が変動するように駆動信号が入力されて該振動子を変位方向に振動駆動する測定電極を備え、前記測定電極に入力される駆動信号及び前記変位検出手段により検出される変位信号に基づき、該振動子の変位方向の共振周波数を測定することを要旨とする。

【0007】請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の加速度センサにおいて、前記測定電極は、前記振動子の変位方向一側に配置される第1測定電極と、該振動子の変位方向他側に配置される第2測定電極であることを要旨とする。

【0008】請求項3に記載の発明は、請求項1に記載の加速度センサにおいて、前記測定電極は、前記振動子の変位方向一側において該変位方向と略直交し、且つ、前記基板と略平行な方向に沿って並設される第1測定電極及び第2測定電極であることを要旨とする。

【0009】請求項4に記載の発明は、請求項1に記載の加速度センサにおいて、前記測定電極は、前記振動子の変位方向一側において該変位方向と略直交し、且つ、前記基板と略平行な方向に交互に並設される複数の第1測定電極及び第2測定電極であることを要旨とする。

【0010】請求項5に記載の発明は、請求項1～4のいずれかに記載の加速度センサにおいて、前記変位検出

手段は、前記振動子ととの間の静電容量の変動を変位信号として検出する加速度検出電極を備え、前記振動子の静止状態において前記測定電極と該振動子ととの間の変位方向の距離は、前記加速度検出電極と該振動子ととの間の変位方向の距離よりも短く設定されていることを要旨とする。

【0011】(作用) 振動子に変位方向の加速度が加えられると、同振動子は変位方向に変位する。この加速度に対応する慣性力及び振動子の変位 Δy は、

$$F_g = m_s \cdot g = k_s \cdot \Delta y \cdots (1)$$

の関係有する。従って、

$$\Delta y = m_s / k_s \cdot g \cdots (2)$$

と表される。ここで、 F_g は慣性力、 m_s は振動子の質量、 k_s は振動子の変位方向のばね定数、 g は加えられた加速度をそれぞれ示す。上記質量 m_s 及びばね定数 k_s 間には、下記数式(3)にて表される関係を有することが一般に知られている。

【0012】

【数1】

$$f_s = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_s}{m_s}} \cdots (3)$$

ここで、 f_s は振動子の変位方向の共振周波数を示す。上記数式(3)を数式(2)に代入することにより、変位 Δy は下記数式(4)にて表される。

【0013】

【数2】

$$\Delta y = \frac{1}{(2\pi \cdot f_s)^2} \cdot g \cdots (4)$$

従って、少なくとも共振周波数 f_s が検出されれば、加速度 g に対する振動子の変位 Δy の勾配、すなわち加速度センサの感度が予め確認される。

【0014】請求項1に記載の発明によれば、振動子ととの間の静電引力が変動するように給電されて同振動子を変位方向に振動駆動する測定電極を備えている。そして、この測定電極に入力される駆動信号及び変位検出手段により検出される変位信号に基づき、振動子の変位方向の共振周波数が測定される。これにより、加速度に対する振動子の変位(Δy)の勾配、すなわち加速度センサの感度が簡易に確認される。従って、加速度を加えることなく、この確認された加速度感度に基づきセンサの検出回路のゲイン調整等による感度調整が簡易に行いうる。そして、加速度感度調整の工程に必要とされる時間が低減されて製造コストも削減される。

【0015】請求項2に記載の発明によれば、上記測定電極は、振動子の変位方向一側に配置される第1測定電極と、同振動子の変位方向他側に配置される第2測定電極からなる。従って、これら第1及び第2測定電極に対して、例えば同一の直流バイアス及び位相が互いに反転した駆動信号を入力して同振動子を変位方向に駆動した場合、上記変位検出手段の変位信号に重畳される同駆動

信号のノイズは低減しうようになり、同振動子の変位方向の共振周波数、すなわち加速度センサの感度がより高精度に測定される。

【0016】請求項3に記載の発明によれば、上記測定電極は、振動子の変位方向一側において同変位方向と略直交し、且つ、基板と略平行な方向に沿って並設される第1測定電極及び第2測定電極からなる。従って、これら第1及び第2測定電極に対して、例えば互いに逆向きの直流バイアス及び位相が互いに反転した駆動信号を入力して同振動子を変位方向に駆動した場合、上記変位検出手段の変位信号に重畳される同駆動信号のノイズは低減しうようになり、同振動子の変位方向の共振周波数、すなわち加速度センサの感度がより高精度に測定される。

【0017】請求項4に記載の発明によれば、上記測定電極は、振動子の変位方向一側において同変位方向と略直交し、且つ、基板と略平行な方向に沿って交互に並設される複数の第1測定電極及び第2測定電極からなる。従って、これら複数の第1及び第2測定電極に対して、例えば互いに逆向きの直流バイアス及び位相が互いに反転した駆動信号を入力して同振動子を変位方向に駆動した場合、上記変位検出手段の変位信号に重畳される同駆動信号及びその他の外部信号のノイズは低減しうようになり、同振動子の変位方向の共振周波数、すなわち加速度センサの感度がより高精度に測定される。

【0018】請求項5に記載の発明によれば、振動子の静止状態において上記測定電極と振動子ととの間の変位方向の距離は、上記加速度検出電極と振動子ととの間の変位方向の距離よりも短く設定されている。従って、加速度の検出時において、これら振動子及び測定電極を等電位に維持することで、例えば同振動子が外部からの衝撃等により変位方向に過大に変位した場合には、同振動子が加速度検出電極と接触する前に測定電極と接触する。このように振動子の過大な変位を規制することで、上記振動子及び加速度検出電極間の短絡、並びに振動子そのものの破壊が防止される。

【0019】

【発明の実施の形態】(第1実施形態)以下、本発明を具体化した加速度センサの第1実施形態を図1～図11に従って説明する。

【0020】図1に示されるように、絶縁層を形成する基板としてのシリコン基板10には、例えば導電性とするために不純物の添加されたポリシリコン(以下、「導電性ポリシリコン」という)にて形成された振動子11、加速度検出電極12a、12b、第1、第2測定電極16a、16b及び浮動体アンカーa11、a12、a13、a14が設けられている。なお、上記加速度検出電極12a、12b、第1、第2測定電極16a、16b及び浮動体アンカーa11～a14はシリコン基板上に接合されている。

【0021】上記振動子11は略四角棒状に形成されており、その内側はx方向に延びる渡し梁にてy方向に複数(6つ)に均等に区画されている。なお、y方向は振動子11の変位方向となっており、x方向はy方向(変位方向)と略直交し、且つ、シリコン基板10と略平行な方向となっている。

【0022】この振動子11の四隅はy方向に撓み性が高くなるようにx方向外側に延びる導電性ポリシリコンのばね梁21、22、23、24を介して上記浮動体アンカーa11～a14にそれぞれ連続している。これら振動子11及びばね梁21～24は、例えばリソグラフによる半導体プロセス加工にて、上記シリコン基板10から浮くように形成されており、同ばね梁21～24は、互いに同等の幅及び長さを有している。

【0023】上記加速度検出電極12a、12bは、上記振動子11内に渡し梁にて区画された各空間内の一側及び他側(図1の上側及び下側)において対向する渡し梁に対して所定距離d(図2参照)だけ離隔されてそれぞれ形成されている(ただし、静止状態において)。これら加速度検出電極12a、12bは、上記振動子11のy方向の変位に基づく同振動子11との間の静電容量の変動により、同振動子11のy方向の変位を検出する。すなわち、振動子11が一側(図1の上側)に移動したときには、同振動子11と加速度検出電極12aとの間の静電容量が減少するとともに、振動子11と駆動検出電極14bとの間の静電容量が増加する。また、振動子11が他側(図1の下側)に移動したときには、これらの関係は逆となる。すなわち、上記加速度検出電極12a、12bの静電容量の変動は、互いに逆向きとなっている。

【0024】上記第1、第2測定電極16a、16bは、振動子11の一側及び他側(図1の上側及び下側)の外側に同振動子11を挟みこむようにして、それぞれx方向に延びる態様で形成されている。そして、第1、第2測定電極16a、16bは、振動子11の静止状態

$$\Delta C = C1 - C2 = \frac{2\epsilon_0 \cdot n \cdot L \cdot T}{d^2 - \Delta y^2} \cdot \Delta y = \frac{2\epsilon_0 \cdot n \cdot L \cdot T}{d^2} \cdot \Delta y \quad \dots (1)$$

なお、 ϵ_0 は真空の誘電率を示す。また、nは加速度検出電極12a、12bの各数量(本実施形態では6個)、Lは加速度検出電極12a、12bの長さ、Tは加速度検出電極12a、12bの厚さをそれぞれ示す。従って、 $n \cdot L \cdot T$ は加速度検出電極12a、12bの総面積となる。

【0029】ちなみに、上記変位 Δy に対する容量偏差 ΔC の勾配は、加速度センサの感度のうち、特に電気的感度に係る因子となっている。従って、上記加速度検出電極12a、12bの総面積(数量n、長さL、厚さT)及び距離dを測定することで、加速度センサの電気的感度が検出される。これら加速度検出電極12a、12bの総面積(数量n、長さL、厚さT)及び距離dの

において、上記距離dよりも小さい距離lにて同振動子11からy方向に離隔されている。従って、上記振動子11が外部からの衝撃等によりy方向に過大に変位した場合には、同振動子11と加速度検出電極12a、12bとが接触する前に、振動子11と第1若しくは第2測定電極16a、16bとが接触するようになっている。これら第1、第2測定電極16a、16bは、後述する態様で振動子11をy方向に励振し、同振動子11のy方向の共振周波数を求めるためのものである。次に、この加速度センサの加速度検出に係る電気的構成について説明する。

【0025】図1に示されるように、この加速度センサが備える検出回路部31は、第1電源32及び第2電源33と、チャージアンプ34と、増幅器35とを有している。

【0026】上記第1電源32及び第2電源33は、互いに逆相となる交流電圧 V_a 、 V_b ($= -V_a$)を上記加速度検出電極12a、12bにそれぞれ印加する。従って、図3に等価回路が示されるように、振動子11と全加速度検出電極12aとで形成される静電容量C1及び同振動子11と全加速度検出電極12bとで形成される静電容量C2には、互いに逆相となる電源電圧が印加されている。従って、これら静電容量C1、C2の接続点、すなわち振動子11からは、同静電容量C1、C2の容量偏差 ΔC に略比例した交流電流が検出される。

【0027】ここで、振動子11に加速度が加わると、同振動子11はy方向に変位することは既述のとおりである。このときの振動子11のy方向の変位 Δy は、加えられた加速度との間に所定の関係を有している。また、振動子11のy方向の変位 Δy と上記容量偏差 ΔC との間には、下記数式(1)で示される関係を有している。

【0028】

【数3】

測定としては、例えば同一ウェハ内のサンプルを使用し、例えば破壊測定、光学的測定若しくは電気的測定などの各種測定法を用いればよい。

【0030】上記容量偏差 ΔC に略比例して検出された交流電流は、上記チャージアンプ34において電圧に変換され、出力電圧 V_{out} として出力される。なお、この出力電圧 V_{out} は、下記数式(2)に示されるように、入力電圧 V_a に対して上記容量偏差 ΔC と容量C3との比率に基づき、

$$V_{out} = \Delta C / C3 \cdot V_a \quad \dots (2)$$

と表される。この出力電圧 V_{out} は、上記増幅器35において増幅され、加速度信号へと変換される。そして、この加速度信号に基づきy方向の加速度が検出され

る。

【0031】なお、前記第1、第2測定電極16a、16bは、上記振動子11と短絡されて同振動子11と等電位にされている。次に、本実施形態の加速度センサの感度を測定する装置の電氣的構成について説明する。

【0032】図4に示されるように、この測定装置は大きくは駆動回路部61と、検出回路部62とを有している。上記駆動回路部61は、ファンクションジェネレータ63及び反転回路64を備えており、上記振動子11のy方向の共振周波数（共振周波数） f_s [Hz]を検出するために、駆動信号（電圧）の周波数（検出共振周波数 f ）を推移させて前記第1、第2測定電極16a、16bに印加する。

【0033】すなわち、上記ファンクションジェネレータ63は、上記検出共振周波数 f を推移しながらその発生信号（電圧）をそのまま上記第2測定電極16bに印加し、また、同信号（電圧）を上記反転回路64を介して逆相として第1測定電極16aに印加する。そして、図5に示されるように、第1測定電極16aに直流電圧と交流電圧からなる

$$V_{dc} + V_{ac} \sin(2\pi \cdot f \cdot t + \pi) \text{ [V]}$$

を印加し、第2測定電極16bに同様に直流電圧と交流電圧からなる

$$V_{dc} + V_{ac} \sin(2\pi \cdot f \cdot t) \text{ [V]}$$

を印加する。ここで、 V_{dc} は直流電圧を、 V_{ac} は振幅（定数）を、 f は検出共振周波数をそれぞれ示す。

【0034】このような構成を有する駆動回路部61により、上記振動子11は検出共振周波数 f にてy方向に振動駆動される。なお、上記ファンクションジェネレータ63の発生信号（電圧）は、信号端子Aにおいてモニタしうようになっている。

【0035】上記検出回路部62は、電荷－電圧変換回路65、66及び差動増幅器67を備えており、上記振動子11のy方向の振動状態を検出する。上記電荷－電圧変換回路65、66はそれぞれ前記加速度検出電極12a、12bに接続されており、同加速度検出電極12a、12bとGNDレベルにある振動子11全体との間での静電容量の振動に相当する電気信号（電圧）を発生する。この電気信号（電圧）は、振動子11のy方向の振動に同期したレベル変化を示す交流信号となっている。なお、上記加速度検出電極12a、12bの静電容量の振動は、互いに逆相となっているため、これら電荷－電圧変換回路65、66においてそれぞれ発生する電気信号（電圧）も、互いに逆相となっている。

【0036】上記差動増幅器67は電荷－電圧変換回路65、66に接続されており、各電荷－電圧変換回路65、66において互いに逆相に発生した電気信号（電圧）を差動増幅する。そして、差動増幅器67は、例えば上記第1、第2測定電極16a、16bに印加された駆動信号（電圧）により上記加速度検出電極12a、1

2bに重畳されたノイズの相殺された差動増幅信号（電圧）を発生する。この差動増幅信号（電圧）は、信号端子Bにおいてモニタしうようになっている。

【0037】ここで、上記信号端子A、Bの各出力信号間の位相差が90度となるときに周波数を測定することにより、精度よく共振周波数 f_s [Hz]が測定される。次に、上記検出された共振周波数 f_s [Hz]等に基づく加速度センサの感度の算出態様について以下に説明する。

【0038】振動子11にy方向の加速度 g が加えられると、同加速度 g に基づき同振動子11はy方向に変位する。この加速度に対応する慣性力及び振動子の変位 Δy は、

$$F_g = m_s \cdot g = k_s \cdot \Delta y \cdots (3)$$

の関係を有する。従って、

$$\Delta y = m_s / k_s \cdot g \cdots (4)$$

と表される。ここで、 F_g [N]は慣性力、 m_s [kg]は振動子の質量、 k_s [N/m]は振動子の変位方向のばね定数をそれぞれ示す。上記質量 m_s 及びばね定数 k_s 間には、下記数式(5)にて表される関係を有することが一般に知られている。

【0039】

【数4】

$$f_s = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_s}{m_s}} \cdots (5)$$

ここで、 f_s は振動子の変位方向の共振周波数を示す。上記数式(5)を数式(4)に代入することにより、変位 Δy は下記数式(6)にて表される。

【0040】

【数5】

$$\Delta y = \frac{1}{(2\pi \cdot f_s)^2} \cdot g \cdots (6)$$

従って、上記数式(6)において、検出された共振周波数 f_s [Hz]を代入することで、加速度 g に対する振動子11のy方向の変位 Δy の勾配、すなわち加速度センサの感度が予め確認される。ちなみに、上記加速度 g に対する変位 Δy の勾配は、加速度センサの感度のうち、特に機械的感度に係る因子となっている。なお、電気的・機械的感度を含めた加速度センサとしての検出感度は、前記数式(1)に数式(6)を代入することで、下記数式(7)にて表される。

【0041】

【数6】

$$\Delta C = \frac{2\epsilon_0 \cdot n \cdot L \cdot T}{d^2} \cdot \frac{1}{(2\pi \cdot f_s)^2} \cdot g \cdots (7)$$

従って、加速度検出電極12a、12bの総面積（数量 n 、長さ L 、厚さ T ）及び距離 d 、並びに共振周波数 f_s [Hz]を測定することで、加速度感度は高精度に検出される。

【0042】以上詳述したように、本実施形態によれば、以下に示す効果が得られるようになる。

(1) 本実施形態では、振動子11の共振周波数 f_s [Hz]を検出するための第1、第2測定電極16a、16bを設けた。これら共振周波数 f_s [Hz]に基づき、加速度 g に対する振動子11の y 方向の変位 Δy の勾配、すなわち加速度センサの感度(機械的感度)が簡易に確認される。また、加速度検出電極12a、12bの総面積(数量 n 、長さ L 、厚さ T)及び距離 d の測定により変位 Δy に対する容量偏差 ΔC の勾配、すなわち加速度センサの感度(電気的感度)が併せ確認される。従って、加速度を加えることなく、この確認された感度に基づきセンサの検出回路のゲイン調整等による感度調整を簡易に行うことができる。そして、加速度感度調整の工程に必要とされる時間を低減して製造コストも削減することができる。

【0043】(2) 本実施形態では、加速度検出電極12a、12bの総面積(数量 n 、長さ L 、厚さ T)及び距離 d の測定により変位 Δy に対する容量偏差 ΔC の勾配(加速度センサの電気的感度)を併せ測定した。従って、この加速度センサの感度をより高精度に検出することができる。

【0044】(3) 本実施形態では、振動子11の一侧及び他側(図1の上側及び下側)の外側に同振動子11を挟みこむようにして第1、第2測定電極16a、16bを設けた。そして、これら第1、第2測定電極16a、16bに対して、同一の直流バイアス及び位相が互いに反転した駆動信号を入力して振動子11を y 方向に振動駆動するようにした。従って、上記第1、第2測定電極16a、16bに印加された駆動信号(電圧)により上記加速度検出電極12a、12bに重畳されたノイズは、差動増幅器67により相殺される。このため、上記振動子11の共振周波数 f_s [Hz]、すなわち加速度センサの感度をより高精度に測定することができる。

【0045】(4) 本実施形態では、振動子11の静止状態において、第1、第2測定電極16a、16bと振動子11との間の y 方向の距離 l を、加速度検出電極12a、12bと振動子11との間の y 方向の距離 d よりも短く設定した。従って、加速度の検出時において、これら振動子11及び第1、第2測定電極16a、16bを等電位に維持することで、例えば同振動子11が外部からの衝撃等により y 方向に過大に変位した場合、同振動子11は加速度検出電極12a、12bと接触する前に第1若しくは第2測定電極16a、16bと接触する。このように振動子11の過大な振動を規制することで、同振動子11及び加速度検出電極12a、12b間の短絡、並びに振動子11そのものの破壊を防止することができる。

【0046】なお、図6に示されるように、上記駆動回路部61により上記第1測定電極16aに印加される信

号を直流電圧からなる

V_{dc} [V]

とし、第2測定電極16bに印加される信号を直流電圧と交流電圧からなる

$V_{dc} + V_{ac} \sin(2\pi \cdot f \cdot t)$ [V]

としてもよい。この場合においても、差動増幅器67

は、例えば上記第1、第2測定電極16a、16bに印加された駆動信号(電圧)により上記加速度検出電極12a、12bに重畳されたノイズをほぼ消去する。そして、同様に上記信号端子A、Bの各出力信号間の位相差が90度となるときの周波数を測定することにより、共振周波数 f_s [Hz]が測定される。

【0047】また、図7に示されるように、上記駆動回路部61により上記第1測定電極16aに印加される信号を直流電圧と交流電圧からなる

$V_{dc} + V_{ac} \sin(2\pi \cdot f \cdot t)$ [V]

とし、第2測定電極16bに印加される信号を直流電圧と交流電圧からなる

$-V_{dc} + V_{ac} \sin(2\pi \cdot f \cdot t)$ [V]

としてもよい。この場合においても、差動増幅器67

は、例えば上記第1、第2測定電極16a、16bに印加された駆動信号(電圧)により上記加速度検出電極12a、12bに重畳されたノイズをほぼ消去する。そして、同様に上記信号端子A、Bの各出力信号間の位相差が90度となるときの周波数を測定することにより、共振周波数 f_s [Hz]が測定される。

【0048】さらに、図8に示されるように、上記駆動回路部61により上記第1測定電極16aに印加される信号を直流電圧からなる

V_{dc} [V]

とし、第2測定電極16bに印加される信号を直流電圧と高周波の交流電圧を共振点付近の周波数でAM変調した交流電圧からなる

$V_{dc} + V_{acc} \cos(2\pi \cdot f \cdot t + \theta 1 + \pi) \sin(2\pi \cdot f_h \cdot t + \theta 2)$ [V]

としてもよい。ここで、 f は変調周波数を、 f_h は搬送波(高周波)の周波数を、 $\theta 1$ 、 $\theta 2$ は任意の定数をそれぞれ示す。この場合、上記加速度検出電極12a、12bに重畳された高周波ノイズをローパスフィルタで取り除くことにより、共振周波数 f_s [Hz]が精度よく測定される。

【0049】さらにまた、図9に示されるように、上記駆動回路部61により上記第1測定電極16aに印加される信号を直流電圧と高周波の交流電圧を共振点付近の周波数でAM変調した交流電圧からなる

$V_{dc} + V_{acc} \cos(2\pi \cdot f \cdot t + \theta 1) \sin(2\pi \cdot f_h \cdot t + \theta 2)$ [V]

とし、第2測定電極16bに印加される信号を直流電圧と高周波の交流電圧を共振点付近の周波数でAM変調した交流電圧からなる

$$V_{dc} + V_{acc} \cos(2\pi \cdot f \cdot t + \theta 1 + \pi) \sin(2\pi \cdot f h \cdot t + \theta 3) [V]$$

としてもよい。ここで、 f は変調周波数を、 $f h$ は搬送波（高周波）の周波数を、 $\theta 1$ 、 $\theta 2$ 、 $\theta 3$ は任意の定数をそれぞれ示す。この場合も、上記加速度検出電極12a、12bに重畳された高周波ノイズをローパスフィルタで取り除くことにより、共振周波数 $f s [Hz]$ が精度よく測定される。

【0050】また、図10に示されるように、上記駆動回路部61により上記第1測定電極16aに印加される信号を直流電圧からなる

$$V_b [V]$$

とし、第2測定電極16bに印加される信号を直流電圧と予測される検出共振周波数の $1/2$ の周波数の交流電圧からなる

$$V_b + V_{ac} \sin(2\pi \cdot (1/2) f \cdot t) [V]$$

としてもよい。ここで、 V_b は振動子11と等電位(GND)となるような直流電圧を、 f は予測される検出共振周波数をそれぞれ示す。この場合、上記加速度検出電極12a、12bに重畳された共振周波数の $1/2$ の周波数をハイパスフィルタで取り除くことにより、共振周波数 $f s [Hz]$ が精度よく測定される。

【0051】さらに、図11に示されるように、上記駆動回路部61により上記第1測定電極16aに印加される信号を直流電圧と予測される検出共振周波数の $1/2$ の周波数の交流電圧からなる

$$V_b + V_{ac} \sin(2\pi \cdot (1/2) f \cdot t) [V]$$

とし、第2測定電極16bに印加される信号を直流電圧と予測される検出共振周波数の $1/2$ の周波数の交流電圧からなる

$$V_b + V_{ac} \sin(2\pi \cdot (1/2) f \cdot t + \pi/2) [V]$$

としてもよい。この場合も、上記加速度検出電極12a、12bに重畳された共振周波数の $1/2$ の周波数をハイパスフィルタで取り除くことにより、共振周波数 $f s [Hz]$ が精度よく測定される。

（第2実施形態）以下、本発明を加速度センサに具体化した第2実施形態を図12～図16に従って説明する。なお、第1実施形態においては、振動子11の一侧及び他側（図12の上側及び下側）の外側に同振動子11を挟みこむように配設される第1、第2測定電極16a、16bを採用した。第2実施形態の加速度センサは、振動子11の一侧（図12の上側）の外側において、 x 方向に2分割されて同 x 方向に延びる第1、第2測定電極70a、70bを採用したことが第1実施形態と異なる。そして、その他の構成及び加速度検出に係る電気的構成は第1実施形態と同様であるためその詳細な説明は省略する。

【0052】本実施形態の加速度センサの感度を測定する際の電気的構成について図12に基づき更に説明す

る。図12に示されるように、この測定装置は大きくは駆動回路部71と、前記検出回路部62とを有している。

【0053】上記駆動回路部71は、ファンクションジェネレータ73を備えており、上記振動子11の共振周波数 $f s [Hz]$ を検出するために、駆動信号（電圧）の周波数（検出共振周波数 f ）を推移させて前記第1、第2測定電極70a、70bに印加する。

【0054】すなわち、上記ファンクションジェネレータ73は、上記検出共振周波数 f を推移しながらその発生信号（電圧）をそのまま上記第1、第2測定電極70a、70bにそれぞれ印加する。そして、図13に示されるように、第1、第2測定電極70a、70bに直流電圧と交流電圧からなる

$$V_{dc} + V_{ac} \sin(2\pi \cdot f \cdot t) [V]$$

を印加する。ここで、 V_{dc} は直流電圧を、 V_{ac} は振幅（定数）を、 f は検出共振周波数をそれぞれ示す。

【0055】このような構成を有する駆動回路部71により、上記振動子11は検出共振周波数 f にて y 方向に振動駆動される。なお、上記ファンクションジェネレータ73の発生信号（電圧）は、信号端子Aにおいてモニタしうるようになっている。

【0056】また、第1実施形態と同様に検出回路部62の差動増幅器67は、例えば上記第1、第2測定電極70a、70bに印加された駆動信号（電圧）により上記加速度検出電極12a、12bに重畳されたノイズをほぼ消去した差動増幅信号（電圧）を発生する。この差動増幅信号（電圧）は、信号端子Bにおいてモニタしうるようになっている。そして、同様に上記信号端子A、Bの各出力信号間の位相差が90度となるときの周波数を測定することにより、共振周波数 $f s [Hz]$ が測定される。

【0057】以上詳述したように、本実施形態によれば、前記第1実施形態における（1）～（4）の効果と同様の効果が得られるようになる。なお、図14に示されるように、上記駆動回路部71により上記第1測定電極70aに印加される信号を直流電圧と交流電圧からなる

$$V_{dc} + V_{ac} \sin(2\pi \cdot f \cdot t) [V]$$

とし、第2測定電極70bに印加される信号を直流電圧と交流電圧からなる

$$-V_{dc} + V_{ac} \sin(2\pi \cdot f \cdot t + \pi) [V]$$

としてもよい。この場合、検出回路部62の差動増幅器67は、例えば上記第1、第2測定電極70a、70bに印加された駆動信号（電圧）により上記加速度検出電極12a、12bに重畳されたノイズの相殺された差動増幅信号（電圧）を発生する。そして、同様に上記信号端子A、Bの各出力信号間の位相差が90度となるときの周波数を測定することにより、精度よく共振周波数 $f s [Hz]$ が測定される。

【0058】また、図15に示されるように、上記駆動回路部71により上記第1測定電極70aに印加される信号を直流電圧と高周波の交流電圧を共振点付近の周波数でAM変調した交流電圧からなる

$$V_{dc} + V_{acc} \cos(2\pi \cdot f \cdot t + \theta 1) \cdot \sin(2\pi \cdot f h \cdot t + \theta 2) \quad [V]$$

とし、第2測定電極70bに印加される信号を直流電圧と高周波の交流電圧を共振点付近の周波数でAM変調した交流電圧からなる

$$V_{dc} + V_{acc} \cos(2\pi \cdot f \cdot t + \theta 1) \cdot \sin(2\pi \cdot f h \cdot t + \theta 3) \quad [V]$$

としてもよい。ここで、 f は変調周波数を、 fh は搬送波(高周波)の周波数を、 $\theta 1$ 、 $\theta 2$ 、 $\theta 3$ は任意の定数をそれぞれ示す。この場合も、上記加速度検出電極12a、12bに重畳された高周波ノイズをローパスフィルタで取り除くことにより、共振周波数 f_s [Hz]が精度よく測定される。

【0059】さらに、図16に示されるように、上記駆動回路部71により第1、第2測定電極70a、70bに印加される信号を直流電圧と予測される検出共振周波数の $1/2$ の周波数の交流電圧からなる

$$V_b + V_a \sin(2\pi \cdot (1/2) f \cdot t) \quad [V]$$

としてもよい。ここで、 V_b は振動子11と等電位(GND)となるような直流電圧を、 f は予測される検出共振周波数をそれぞれ示す。この場合、上記加速度検出電極12a、12bに重畳された共振周波数の $1/2$ の周波数をハイパスフィルタで取り除くことにより、共振周波数 f_s [Hz]が精度よく測定される。

【0060】なお、本発明の実施の形態は上記実施形態に限定されるものではなく、次のように変更してもよい。・前記第1実施形態において採用された測定装置に代えて、図17に示される測定装置を採用してもよい。すなわち、この測定装置は前記検出回路部62と駆動回路部75とを備えており、同駆動回路部75は、移相器76、増幅器77及び反転回路78を有している。そして、上記移相器76は前記差動増幅器67に接続されており、前記振動子11の y 方向の振動を共振点とするために、上記差動増幅器67において発生した差動増幅信号を略90度移相する。そして、前記第1、第2測定電極16a、16b、加速度検出電極12a、12b、検出回路部62及び駆動回路部75等によって形成されるループの位相が $2n\pi$ (n は整数)となるようにする。

【0061】上記増幅器77は、移相器76に接続されており、前記第1、第2測定電極16a、16b、加速度検出電極12a、12b、検出回路部62及び駆動回路部75等によって形成されるループゲインが1よりも大きくなるように上記移相された差動増幅信号を増幅する。

【0062】上記第2測定電極16bにはこの増幅器77において増幅された信号(電圧)がそのままに印加さ

れ、第1測定電極16aには同信号(電圧)が上記反転回路78を介して逆相とされて印加される。すなわち、上記駆動回路部75により第1、第2測定電極16a、16bに図5と同様の駆動信号(電圧)を印加する。

【0063】このような構成を有する駆動回路部75により、上記振動子11は共振周波数 f_s [Hz]にて y 方向に振動駆動される(自励発振する)。そして、このときの差動増幅器67からの出力信号に基づき共振周波数 f_s [Hz]が測定される。

【0064】なお、上記駆動回路部75により、第1、第2測定電極16a、16bに図6若しくは図7と同様の駆動信号(電圧)を印加するようにしてもよい。・前記第1実施形態においては、振動子11の一侧及び他側(図1の上側及び下側)の外側にそれぞれ1本ずつ配設される第1、第2測定電極16a、16bを採用した。これに対して、図18に示されるように、 x 方向に複数個(同図においては4つ)に分割されて x 方向に交互に配置される第1、第2測定電極96、97としてもよい。この場合、特に上記第1、第2測定電極96、97を振動子11の一侧及び他側(図18の上側及び下側)に互い違いに配置して前記駆動回路部41からの駆動信号(電圧)を印加する。これにより、例えば上記第1、第2測定電極96、97に印加された駆動信号(電圧)及びその他の外部ノイズも均等に上記加速度検出電極12a、12bに重畳される。従って、検出回路部62の差動増幅器67(図3参照)は、上記加速度検出電極12a、12bに重畳された均等なノイズを相殺し、更に精度よく共振周波数 f_s [Hz]が測定される。

【0065】また、このようにそれぞれ複数個の第1、第2測定電極96、97を備える場合、上記加速度検出電極12a、12bに混入されるノイズが全体として低減されるように各測定電極96、97に印加される駆動信号の、例えば振幅を電極ごとに個別に設定してもよい。

【0066】・前記第2実施形態において採用された測定装置に代えて、図19に示される測定装置を採用してもよい。すなわち、この測定装置は前記検出回路部62と駆動回路部100とを備えており、同駆動回路部100は、移相器101、増幅器102、反転回路103及びバイアス設定回路104、105を有している。そして、上記移相器101は前記差動増幅器67に接続されており、前記振動子11の y 方向の振動を共振点とするために、上記差動増幅器67において発生した差動増幅信号を略90度移相する。そして、前記第1、第2測定電極70a、70b、加速度検出電極12a、12b、検出回路部62及び駆動回路部100等によって形成されるループの位相が $2n\pi$ (n は整数)となるようにする。

【0067】上記増幅器102は、移相器101に接続されており、前記第1、第2測定電極70a、70b、

加速度検出電極12a、12b、検出回路部62及び駆動回路部100等によって形成されるループゲインが1よりも大きくなるように上記移相された差動増幅信号を増幅する。

【0068】上記第1測定電極70aにはこの増幅器102において増幅された信号（電圧）が上記バイアス設定回路104を介して直流電圧Vdcが加えられて印加され、第2測定電極70bには同信号（電圧）が上記反転回路103、バイアス設定回路105を介して直流電圧-Vdcが加えられて逆相とされて印加される。すなわち、上記駆動回路部100により第1、第2測定電極70a、70bに図14と同様の駆動信号（電圧）を印加する。

【0069】このような構成を有する駆動回路部100により、上記振動子11は共振周波数 f_s [Hz]にてy方向に振動駆動される（自励発振する）。そして、このときの差動増幅器67からの出力信号に基づき共振周波数 f_s [Hz]が測定される。

【0070】なお、上記駆動回路部100により、第1、第2測定電極70a、70bに図13と同様の駆動信号（電圧）を印加するようにしてもよい。・前記第2実施形態においては、振動子11の一侧（図12の上側）の外側にそれぞれ1本ずつ配設される第1、第2測定電極70a、70bを採用した。これに対して、図20に示されるように、x方向に複数個（同図においては4つ）に分割されて配設される第1、第2測定電極115、116としてもよい。この場合、特に上記第1、第2測定電極115、116を1つおきに配置して前記駆動回路部71からの駆動信号（電圧）を印加する。この駆動信号（電圧）としては、例えば図13若しくは図14に示される信号であってよい。これにより、例えば上記第1、第2測定電極115、116に印加された駆動信号（電圧）及びその他の外部ノイズも均等に上記加速度検出電極12a、12bに重畳される。そして、検出回路部62の差動増幅器67は、上記加速度検出電極12a、12bに重畳された均等なノイズを相殺し、更に精度よく共振周波数 f_s [Hz]が測定される。

【0071】また、このようにそれぞれ複数個の第1、第2測定電極115、116を備える場合、上記加速度検出電極12a、12bに混入されるノイズが全体として低減されるように各測定電極115、116に印加される駆動信号の、例えば振幅を電極ごとに個別に設定してもよい。

【0072】・前記各実施形態においては、複数個の測定電極16a、16b、70a、70b、96、97、115、116を設けたが、振動子11をy方向に振動駆動しうるのであれば、1個だけであってもよい。

【0073】・前記各実施形態においては、第1、第2測定電極16a、16b、70a、70b、96、97、115、116をx方向に延びる板状に形成した

が、例えばこれら測定電極を振動子11、85、110に対して突出する櫛歯状とし、対向する振動子11、83、110も互い違いとなるように突出する櫛歯状としてもよい。

【0074】・第1、第2測定電極16a、16b、70a、70b、96、97、115、116に対して互いに逆相となる駆動信号を入力する場合、1出力のファンクションジェネレータを使用する場合には、その出力を2つに分岐してその一方に反転回路を介装すればよいし、2出力のファンクションジェネレータを使用する場合には、互いに逆相となる駆動信号をそれぞれ生成すればよい。

【0075】・前記各実施形態において採用された測定装置の回路構成は一例であって、その他の回路構成を採用してもよい。・前記各実施形態におけるシリコン基板10に代えて、例えば多結晶、単結晶、又は非晶質のSi、Ge、SiC、 SixGe_{1-x} 、 $\text{SixGe}_y\text{C}_{1-x-y}$ にて形成された基板としてもよい。

【0076】・前記各実施形態において採用された加速度センサの構造は一例であって、y方向の振動に基づき加速度を検出する構造であればその構造は任意である。次に、以上の実施形態から把握することができる請求項以外の技術的思想を、その効果とともに以下に記載する。

【0077】（イ）請求項2に記載の加速度センサにおいて、前記変位検出手段は、前記振動子との間の静電容量の変動を変位信号として検出する第1及び第2加速度検出電極と、各検出された変位信号を差動増幅する差動増幅器とを備えたことを特徴とする加速度センサ。同構成によれば、これら第1及び第2測定電極に対して、例えば同一の直流バイアス及び位相が互いに反転した駆動信号を入力して同振動子を変位方向に駆動した場合、上記第1及び第2加速度検出電極により検出される変位信号に重畳される同駆動信号のノイズは差動増幅器により相殺され、同振動子の変位方向の共振周波数、すなわち加速度センサの感度がより高精度に測定される。

【0078】（ロ）請求項3又は4に記載の加速度センサにおいて、前記変位検出手段は、前記振動子との間の静電容量の変動を変位信号として検出する第1及び第2加速度検出電極と、各検出された変位信号を差動増幅する差動増幅器とを備えたことを特徴とする加速度センサ。同構成によれば、これら第1及び第2測定電極に対して、例えば互いに逆向きの直流バイアス及び位相が互いに反転した駆動信号を入力して同振動子を変位方向に駆動した場合、上記第1及び第2加速度検出電極により検出される変位信号に重畳される同駆動信号のノイズは差動増幅器により相殺され、同振動子の変位方向の共振周波数、すなわち加速度センサの感度がより高精度に測定される。

【0079】

【発明の効果】以上詳述したように、請求項1～4に記載の発明によれば、加速度感度を簡易に測定してその感度調整を行うことができる。

【0080】請求項5に記載の発明によれば、振動子の過大な変位を規制することで、同振動子及び加速度検出電極間の短絡、並びに振動子そのものの破壊を防止することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る加速度センサの第1実施形態を示す概略図。

【図2】同実施形態を拡大して示す拡大図。

【図3】同実施形態を示す回路図。

【図4】同実施形態の共振周波数の測定態様を示す概略図。

【図5】同実施形態の測定電極に印加される駆動信号を示すタイムチャート。

【図6】同実施形態の測定電極に印加される駆動信号の別例を示すタイムチャート。

【図7】同実施形態の測定電極に印加される駆動信号の別例を示すタイムチャート。

【図8】同実施形態の測定電極に印加される駆動信号の別例を示すタイムチャート。

【図9】同実施形態の測定電極に印加される駆動信号の別例を示すタイムチャート。

【図10】同実施形態の測定電極に印加される駆動信号の別例を示すタイムチャート。

【図11】同実施形態の測定電極に印加される駆動信号の別例を示すタイムチャート。

【図12】本発明に係る加速度センサの第2実施形態及びその共振周波数の測定態様を示す概略図。

【図13】同実施形態の測定電極に印加される駆動信号を示すタイムチャート。

【図14】同実施形態の測定電極に印加される駆動信号の別例を示すタイムチャート。

【図15】同実施形態の測定電極に印加される駆動信号の別例を示すタイムチャート。

【図16】同実施形態の測定電極に印加される駆動信号の別例を示すタイムチャート。

【図17】第1実施形態の共振周波数の測定態様の別例を示す概略図。

【図18】第1実施形態の加速度センサの別例を示す概略図。

【図19】第2実施形態の共振周波数の測定態様の別例を示す概略図。

【図20】第2実施形態の加速度センサの別例を示す概略図。

【符号の説明】

10 基板としてのシリコン基板

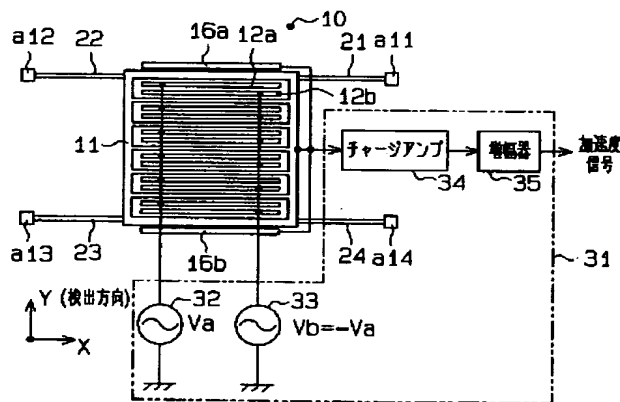
11 振動子

12a, 12b 加速度検出電極

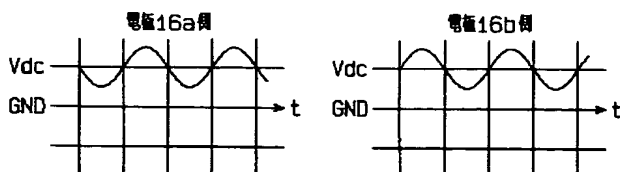
16a, 70a, 96, 115 第1測定電極

16b, 70b, 97, 116 第2測定電極

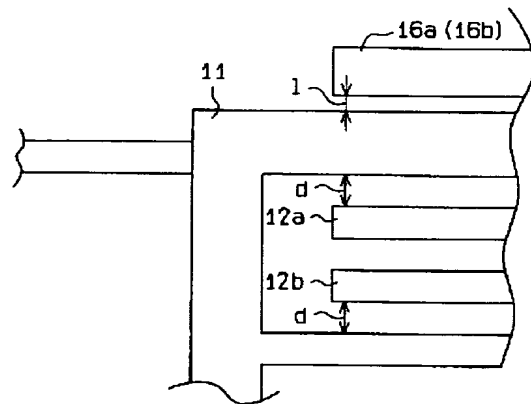
【図1】



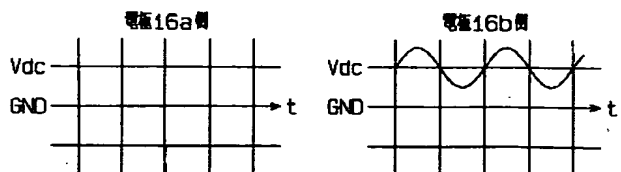
【図5】



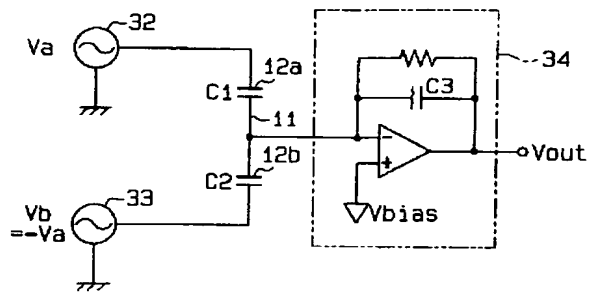
【図2】



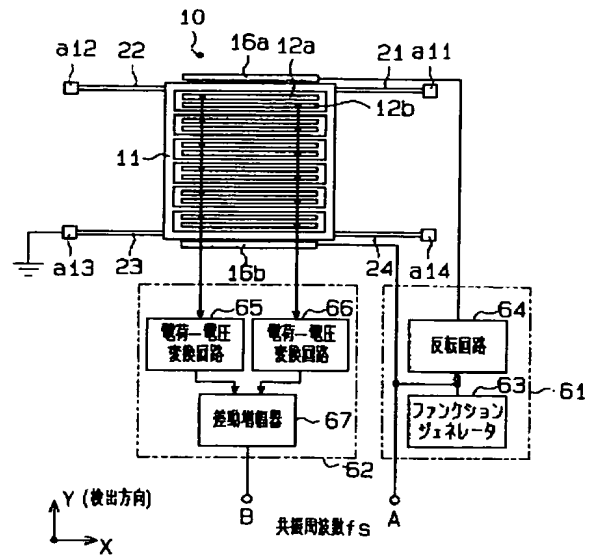
【図6】



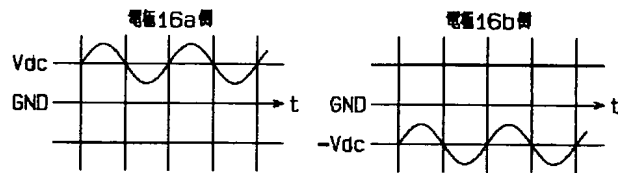
【図3】



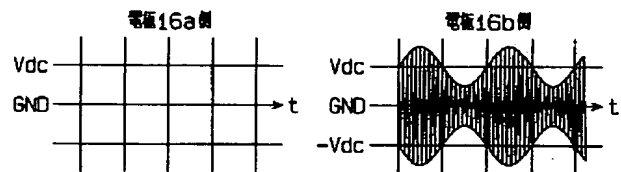
【図4】



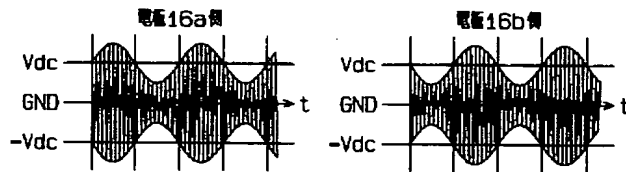
【図7】



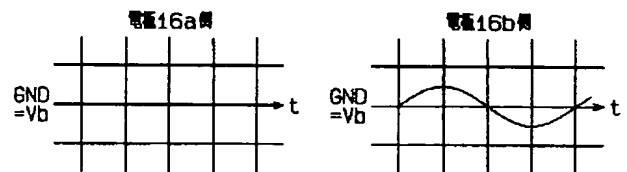
【図8】



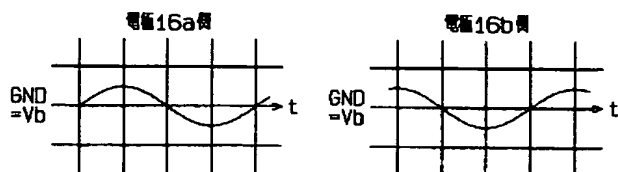
【図9】



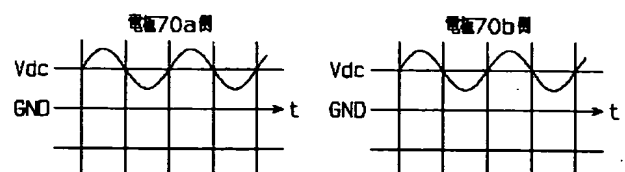
【図10】



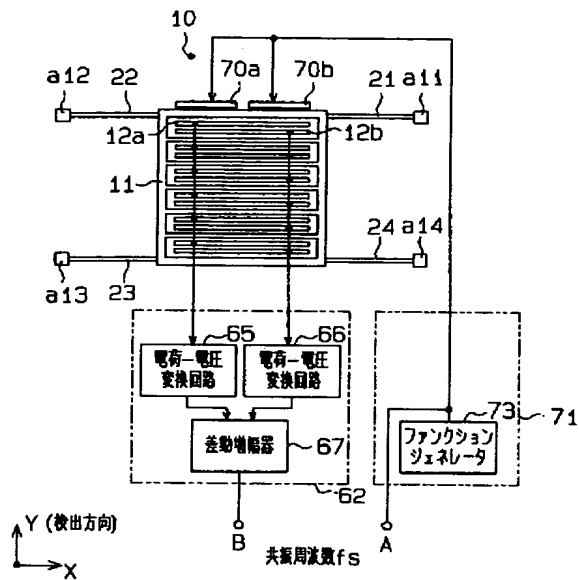
【図11】



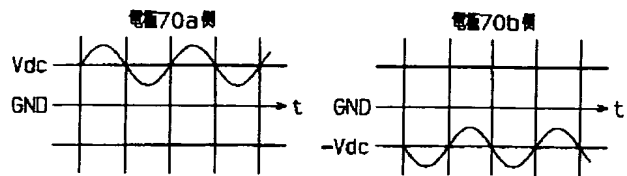
【図13】



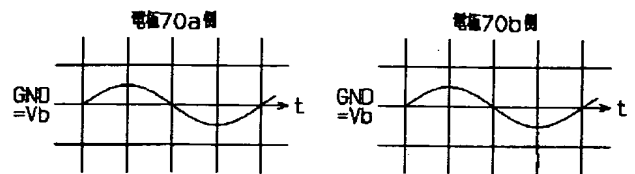
【図12】



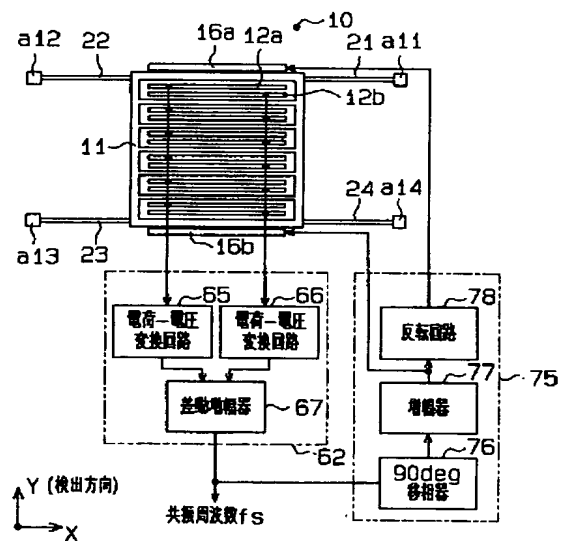
【図14】



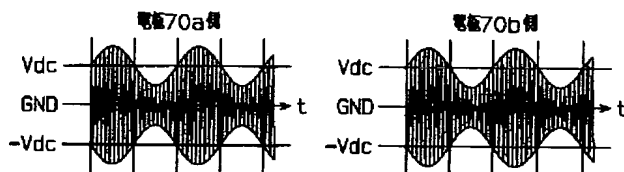
【図16】



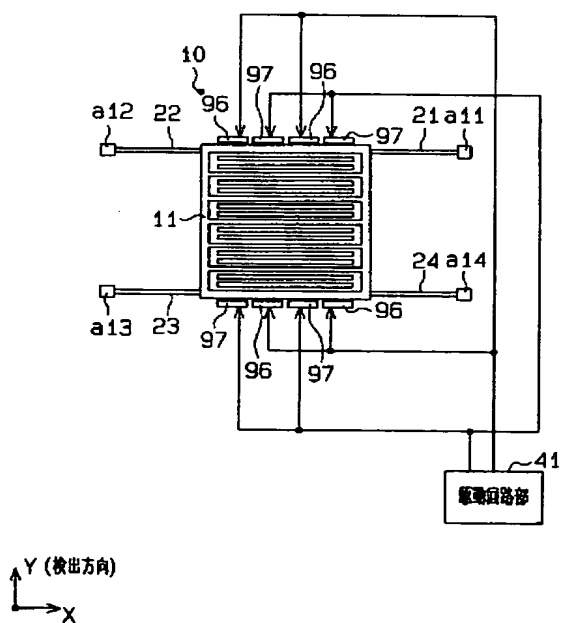
【図17】



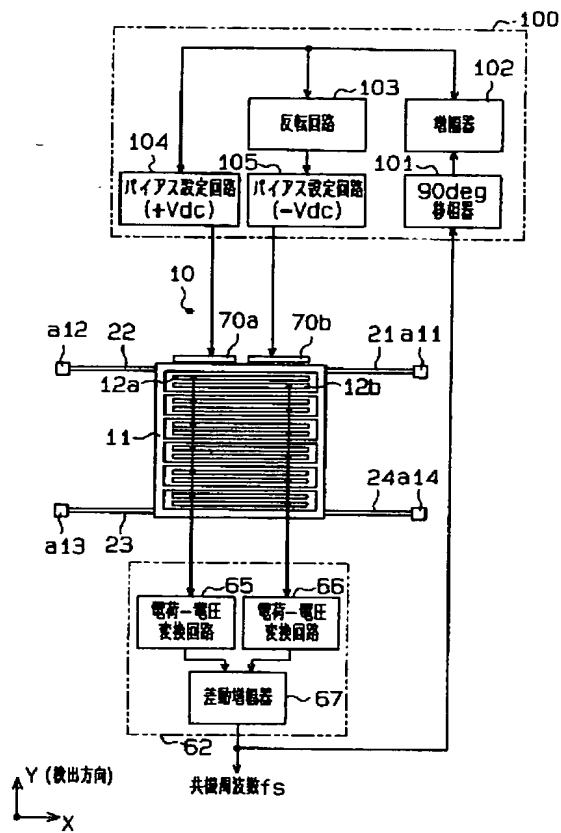
【図15】



【図18】



【図19】



【図20】

